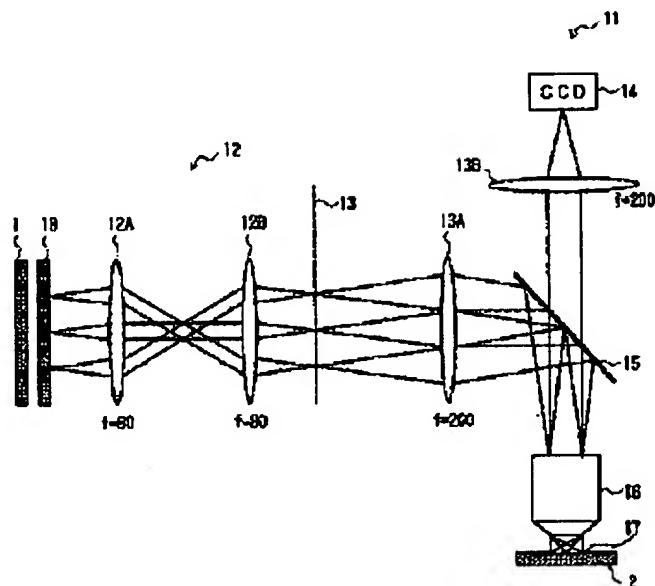


**METHOD AND DEVICE FOR MANIPULATION OF MICRO BODY****Patent number:** JP2002219700**Publication date:** 2002-08-06**Inventor:** TANIDA JUN; OGURA YUSUKE**Applicant:** JAPAN SCIENCE & TECH CORP**Classification:****- International:** **B81C5/00; H01S5/183; H01S5/42; B81C5/00; H01S5/00;** (IPC1-7): B81C5/00; H01S5/183; H01S5/42**- european:****Application number:** JP20010013522 20010122**Priority number(s):** JP20010013522 20010122

Report a data error here

**Abstract of JP2002219700**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To electrically operate a light convergence point to move a micro body. **SOLUTION:** This device is provided with a light source (VCSEL array) 1 comprising a surface light-emitting laser for emitting plural laser beams, and an optical system comprising a micro lens array 18, a lens 12A, a lens 12B, a lens 13A, a dichroic mirror 15, an objective lens 16 to condense the laser beams from the light source 1 on a sample 17 on a stage 2, and each luminescent element of the light source 1 is spatially and time-serially intensity- modulated to capture and move the micro body.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-219700  
(P2002-219700A)

(43) 公開日 平成14年8月6日 (2002.8.6)

(51) Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	F I	テ-マ-ト* (参考)
B 8 1 C	5/00	B 8 1 C	5/00
H 0 1 S	5/183	H 0 1 S	5/183
	5/42		5/42

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号 特願2001-13522(P2001-13522)

(22) 出願日 平成13年1月22日 (2001.1.22)

特許法第30条第1項適用申請有り 2000年10月7日  
(社) 応用物理学会分科会発行の「Optics J a  
pan2000 in 北見 講演予稿集」に発表

(71) 出願人 396020800

科学技術振興事業団

埼玉県川口市本町4丁目1番8号

(72) 発明者 谷田 純

兵庫県神戸市須磨区道正台1-1-4-  
710

(72) 発明者 小倉 裕介

大阪府豊中市上野東3-18-88

(74) 代理人 100089635

弁理士 清水 守

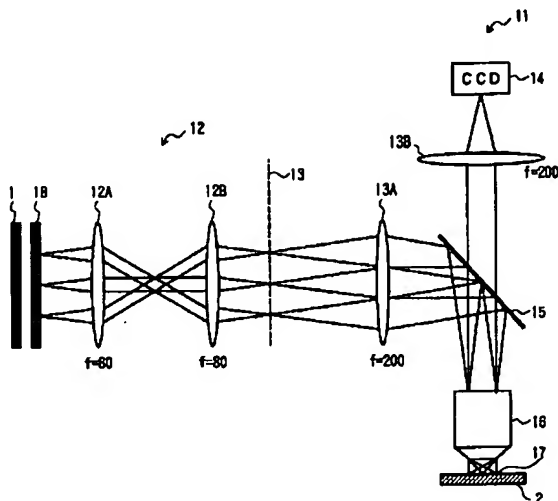
Fターム(参考) 5F073 AB04 AB17 AB21 AB27 BA09  
GA37

(54) 【発明の名称】 微小物体のマニピュレーション方法とその装置

(57) 【要約】

【課題】 電氣的に集光点を操作し、微小物体を移動させることができる微小物体のマニピュレーション方法とその装置を提供する。

【解決手段】 複数個のレーザ光を発する面発光レーザからなる光源 (VCSELアレイ) 1と、この光源1からのレーザ光をステージ2上の試料17に集光するマイクロレンズアレイ18、レンズ12A、レンズ12B、レンズ13A、ダイクロイックミラー15、対物レンズ16からなる光学系とを備え、前記光源1の各発光素子を空間的・時間的に強度変調を行い、微小物体を捕捉・移動させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 複数個のレーザ光を発する面発光レーザを光源とし、その各発光素子を空間的・時間的に強度変調を行い、微小物体を捕捉・移動させることを特徴とする微小物体のマニピュレーション方法。

【請求項2】 請求項1記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源のパターンを空間的に変調し、微小物体を操作することを特徴とする微小物体のマニピュレーション方法。

【請求項3】 請求項1記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源の発光パターンを時間的に変調し、微小物体を操作することを特徴とする微小物体のマニピュレーション方法。

【請求項4】 請求項1記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源の任意のビームパターン形成により、汎用性の高い微小物体を操作することを特徴とする微小物体のマニピュレーション方法。

【請求項5】 請求項1記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源の時間的なパターンを変化させることにより、汎用性の高い微小物体を操作することを特徴とする微小物体のマニピュレーション方法。

【請求項6】 請求項1記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源の発光パターンにより、微小物体の任意配列が可能なことを特徴とする微小物体のマニピュレーション方法。

【請求項7】 請求項1記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源の発光パターンにより、複数の微小物体の同時操作が可能なことを特徴とする微小物体のマニピュレーション方法。

【請求項8】 (a) 複数個のレーザ光を発する面発光レーザからなる光源と、(b) 該光源のドライバ回路と、(c) 該ドライバ回路の制御を行う制御装置とを備え、(d) 前記光源の各発光素子を空間的・時間的に強度変調を行い、微小物体を捕捉・移動させることを特徴とする微小物体のマニピュレーション装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、マイクロメートルオーダー以下の微小物体のマニピュレーション方法とその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、このような分野の参考文献としては以下に開示されるものがあつた。

(1) A. Ashkin, J. M. Dziedzic, J. E. Bjorkholm, and Steven Chu. Observation of a single-beam gradient force optical trap for dielectric

particles. Opt. Lett., Vol. 11, pp. 288-290, 1986.

(2) A. Ashkin and J. M. Dziedzic. Optical trapping and manipulation of viruses and bacteria. Science, Vol. 235, pp. 1517-1520, 1987.

(3) A. Ashkin, J. M. Dziedzic, and T. Yamane. Optical trapping and manipulation of single cells using infrared laser beams. Nature, Vol. 330, pp. 769-771, 1987.

(4) S. C. Kuo and M. P. Sheetz. Force of single kinesin molecules measured with optical tweezers. Science, Vol. 260, pp. 232-234, 1993.

(5) Y. Arai, R. Yasuda, K. Akashi, Y. Harada, H. Miyata, K. Kinoshita Jr., and H. Itoh. Tying a molecular knot with optical tweezers. Nature, Vol. 399, pp. 446-448, 1999.

(6) Z. -P. Luo, Y. -L. Sun, and K. N. An. An optical spin micromotor. Appl. Phys. Lett., Vol. 76, pp. 1779-1781, 2000.

(7) A. E. Chiou, W. Wang, G. J. Sonek, J. Hong, and M. W. Berns. Interferometric optical tweezers. Opt. Comm., Vol. 133, pp. 7-10, 1997.

(8) M. M. Burns, J. -M. Fournier, and J. A. Golovchenko. Optical matter: Crystallization and binding in intense optical fields. Science, Vol. 249, pp. 749-754, 1990.

(9) H. He, M. E. J. Friese, N. R. Heckenberg, and H. Rubinsztein-Dunlop. Direct observation of transfer of angular momentum to absorptive particles from a laser beam with a phase singularity. Phys. Rev. Lett., Vol. 75, pp. 826-829, 1995.

(10) M. E. J. Friese, T. A. Nieminen, N. R. Heckenberg, and

H. Rubinsztein-Dunlop. Optical alignment and spinning of laser-trapped microscopic particles. Nature, Vol. 394, pp. 348-350, 1998.

〔11〕Steven M. Block. Making light work with optical tweezers. Nature, Vol. 360, p. 493-495, 1992.

システムには高い機能性だけでなく、構成の簡単化や微小化を要求されることが多い。またゲノム解析に代表されるように、莫大な情報を効率的に処理する手法が求められている。これらの要求に対し、微細加工技術の発達に伴い、新規な機能を実現する微小システムへの期待が高まっている。例えば、化学分野では、マクロな器具を用いて行ってきたあらゆる化学反応過程を一枚のチップ上で実現し、システム化を目指す研究の流れがある。この概念はLab-On-Chipと呼ばれ、究極的な微小システムとして期待されている。その対象は分子の構造解析や機能解析、化学反応メカニズムの解明や各種センサシステムなど多岐にわたる。

【0003】このような微小システムでは、より小さな領域での複雑な制御や、より高精度な制御が必要となり、広範囲に適用できる技術の確立が望まれている。マイクロメートルオーダー以下の微小物体を巧妙に操るための方法として、光と微小物体の相互作用により生じる光圧を利用した光トラップ（光ピンセット）技術がある。1986年にAshkin〔文献1〕らは、単一の強く集光されたレーザービームを用いて数10nmから数10μmの粒子を三次元的に捕捉できることを最初に示した。光トラップ技術は非接触に微小物体の操作が可能であり、生体内物質の操作〔文献2、文献3〕、分子間の相互作用により生じる微小な力の計測〔文献4〕、フィラメント分子の形状制御〔文献5〕、微小マイクロモーター〔文献6〕などあらゆる分野への応用が提案され、成果を上げてきた。また、二拘束の干渉を利用した物体の捕捉と移動〔文献7〕、多光束干渉を利用した粒子の整列〔文献8〕、トラップ用ビームの波面変調による粒子の回転制御〔文献9〕、偏光による複屈折物体の回転制御〔文献10〕など多くの派生的な技術も提案され、その有用性は疑う余地のないものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、これらを実現するためのシステムは、機能を特化したものが多く、汎用性に乏しい。また、一般的なシステム構成では、捕捉した物体の移動にビームまたはステージの機械的な走査が必要で、システム動作の安定性に問題がある。

【0005】従って、従来型のシステムでは、操作の自由度や制御の精度、あるいはシステムの簡単化や縮小化

において問題があった。

【0006】本発明は、上記状況に鑑みて、電氣的に集光点を操作し、微小物体を移動させることができる微小物体のマニピュレーション方法とその装置を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記目的を達成するために、

〔1〕微小物体のマニピュレーション方法において、複数個のレーザー光を発する面発光レーザを光源とし、その各発光素子を空間的・時間的に強度変調を行い、微小物体を捕捉・移動させることを特徴とする。

【0008】〔2〕上記〔1〕記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源のパターンを空間的に変調し、微小物体を操作することを特徴とする。

【0009】〔3〕上記〔1〕記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源の発光パターンを時間的に変調し、微小物体を操作することを特徴とする。

【0010】〔4〕上記〔1〕記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源の任意のビームパターン形成により、汎用性の高い微小物体を操作することを特徴とする。

【0011】〔5〕上記〔1〕記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源の時間的なパターンを変化させることにより、汎用性の高い微小物体を操作することを特徴とする。

【0012】〔6〕上記〔1〕記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源の発光パターンにより、微小物体の任意配列が可能なことを特徴とする。

【0013】〔7〕上記〔1〕記載の微小物体のマニピュレーション方法において、前記面発光レーザの光源の発光パターンにより、複数の微小物体の同時操作が可能なことを特徴とする。

【0014】〔8〕微小物体のマニピュレーション装置において、複数個のレーザー光を発する面発光レーザからなる光源と、この光源のドライバ回路と、このドライバ回路の制御を行う制御装置とを備え、前記光源の各発光素子を空間的・時間的に強度変調を行い、微小物体を捕捉・移動させることを特徴とする。

【0015】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

【0016】〔1〕光トラップの原理

光トラップは、光と微小物体との相互作用を利用して、ミクロンオーダーの微小物体を捕捉し、操作する技術である。その原理は定性的に以下のように説明される。光が微小物体に入射した時、屈折や反射などの現象が生じ

る。光を光子の集合と考えた場合には、これらの現象は光子が微小物体との衝突により、運動量を変化させたと考えることができる。このとき、運動量保存則から、光子と微小物体の持つ運動量の合計は衝突の前後で保存される。

【0017】従って、微小物体にも、光子の運動量変化を相殺するだけの運動量変化が生じる。このことは、光が微小物体に力を与えたと考えることができ、これを光圧と呼んでいる。微小物体に光が入射した場合には、全ての光子により生じる光圧を合計した力を受ける。

【0018】例えば、図1のように、レーザー光Cを開口数の大きなレンズDで集光し、微小物体Eに照射する場合を考える。A点、B点へ入射する光子は屈折などにより、微小物体Eにそれぞれ $F_A$ 、 $F_B$ の力を与える。全ての光子を考えると最終的に微小物体Eが受ける合力は、鉛直上向きに生じる。この力が重力による鉛直下向きの力と釣り合う位置に微小物体は捕捉される。

【0019】次に、水平方向に生じる力について考える。微小物体Eに照射するビームが非対称の場合、あるいは微小物体Eがビームの中心からずれた場合には、微小物体Eが受ける力は非対称になる（図1で $|F_A| < |F_B|$ ）。この時、合力ベクトルは、強度の強い方向に水平方向の成分を生じ、微小物体Eはその方向に移動する。例えばガウスビームを用いて微小物体Eを捕捉する場合には、微小物体E中心がビーム中心からはずれると微小物体Eにはビーム中心に向かう力が生じる。また、微小物体Eを捕捉した状態でビーム位置を移動させれば、微小物体Eがそれに追従し、移動するため、微小物体Eの位置を遠隔操作することが可能となる。生体細胞や微生物、高分子化合物、金属など多くの微小物体を対象にした光トラップが報告されている。

【0020】(2) 本発明のVCSELアレイを用いた光トラップ技術

本発明は、VCSELアレイを光源とした光トラップ技術に関する。VCSELアレイは、各素子の強度を独立に制御することができるため、任意のスポットパターンを生成することが可能である。また、そのパターンを高速変調できる。従って、自由度の高い微小物体操作が期待でき、精密な操作が可能となる。汎用的なシステムを構築できる、などの特徴点を有する。

(a) 光源としてアレイ光源を用いる点

(b) アレイ光源のパターンを空間的に変調し、微小物体操作を実行する点

(c) アレイ光源の発光パターンを時間的に変調し、微小物体操作を実行する点

(d) 任意のビームパターン形成により、汎用性の高い微小物体操作を実行できる点

(e) 時間的なパターンを変化させることにより、汎用性の高い微小物体操作を実行できる点

(f) アレイ光源の発光パターンにより、微小物体の任

意配列が可能な点

(g) ノンメカニカルに微小物体移送が可能な点

(h) 複数の微小物体の同時操作が可能な点

(3) 実施例

図2は本発明の実施例を示す微小物体のマニピュレーションシステムの構成図、図3はその微小物体のマニピュレーションシステムのVCSELドライバの回路構成図、図4はその微小物体のマニピュレーションシステムの光学系の構成図である。

【0021】図2において、1はVCSELアレイであり、 $8 \times 8$ アレイ、波長 $854 \text{ nm}$ 、 $250 \mu\text{m}$ ピッチからなる。2はステージであり、位置分解能が $1 \mu\text{m}$ （駿河精機株式会社：D80ステッピングモーターで制御）、3はステージコントローラ、4はマイクロコンピュータ、5はD/A（デジタル/アナログ）コンバータ、6はVCSELドライバ回路であり、このVCSELドライバ回路6は、図3に示すような回路構成となっている。すなわち、7は増幅器（TL074）、8はFET（2SK30ATM）、9はTr（2SC1815）、10は抵抗（ $R: 100 \Omega$ ）である。

【0022】また、光学系11は、図4に示すように、VCSELアレイ1、マイクロレンズアレイ18、レンズ（焦点距離 $f = 80 \text{ mm}$ ）12A、12Bからなる4f結像光学系12、VCSEL中間結像面13、レンズ（焦点距離 $f = 200 \text{ mm}$ ）13A、13B、CCD14、ダイクロイックミラー15、対物レンズ16〔水浸長作動距離対物レンズ（オリンパス社製：LUMPlanFI60 $\times$ W/IR）を有し、17は試料（直径 $6 \mu\text{m}$ および $10 \mu\text{m}$ のポリスチレン球で、水に分散）である。

【0023】図4に示すように、VCSELから出射するビームは約 $15^\circ$ の発散角を持つため、VCSELアレイ1の直後に焦点距離 $720 \mu\text{m}$ のマイクロレンズアレイ18を配置して光量効率の低下を抑制する。集光用のレンズには水浸長作動距離対物レンズ16（OLYMPUS：LUMPlanFI60 $\times$ W/IR、 $NA = 0.90$ ）を用いる。本光学系では、マイクロレンズアレイ像が試料17面上に縮小結像する。縮小倍率は約 $1/67$ 倍である。また、試料面の様子は観察用光学系を介してCCD14により取り込む。

(4) システム構成

本システムで用いるVCSELアレイ1（波長 $854 \text{ nm}$ 、最大出力 $3 \text{ mW}$ 以上、開口径 $15 \mu\text{m} \phi$ 、 $250 \mu\text{m}$ ピッチ、素子数 $8 \times 8$ 個）の発光強度特性を図5に示す。最大値に達するまでは発光強度は電流量に比例して増加し、それ以上の電流値では発光強度が減少する。VCSELの最大発光強度は $8.39 \text{ mW}$ である。また、試料面におけるVCSEL1素子あたりの光強度は約 $0.8 \text{ mW}$ である。

【0024】試料には、直径 $6 \mu\text{m}$ と $10 \mu\text{m}$ のポリス

チレン球 (Polysciences Inc. : Polybead Polystyrene Microspheres) を混合して用いた。ポリスチレン球の屈折率は1.60、密度は1.05 g/mlである。図6に示すように、プレバート21は、スライドガラス(1穴ホールスライド)22とカバーガラス23を用いて作製し、その上方からVCSELのビーム24を照射して実験を行った。

#### 【0025】(5) 実験結果

##### (5-1) VCSEL1素子での捕捉と移動

通常、VCSELの最大発光強度は10mW以下である。これは従来の光トラップ用の光源として用いられてきた他の光源の強度と比較して小さく、VCSEL1素子では微小物体を捕捉できない可能性が懸念される。単独のVCSELで微小物体を捕捉できることを確認するため、VCSELアレイ1上の1素子のみを発光させ、微小物体の1個を捕捉し、その移動を試みた。その様子を図7に示す。つまり、図7(a)は0秒後、図7(b)は6.7秒後、図7(c)は13.3秒後、図7(d)は20秒後、図7(e)は26.7秒後、図7(f)は33.3秒後を示しており、VCSELの集光点に1つの微小物体が捕捉され、それが他の微小物体に対して相対的に右側に移動していく様子が見てとれる。本実験から、単独のVCSELで微小物体の捕捉が可能なが確認できた。VCSEL1素子で、マイクロメーターオーダーの微小物体を捕捉できるトラップ力が得られることは、本発明の応用・展開を考える上で非常に有意義な結果である。

##### 【0026】(5-2) 微小物体の一括捕捉と移動

光源であるVCSELアレイ1のそれぞれの素子の強度は独立に変調することができる。従って、VCSELのアレイ数の範囲内であれば任意のスポットアレイパターンの生成が可能である。前項目の実験から、VCSEL1素子で一つの微小物体を捕捉できることが確認されたことから、VCSELアレイの発光パターンに対応して複数の微小物体を同時に捕捉することが可能であると考えられる。実験では、VCSELアレイ1上の2素子を同時に発光させ、それぞれで微小物体をひとつずつ捕捉・移動させることを試みた。本実験で行った微小物体の

捕捉の様子を図8に示す。つまり、図8(a)は0秒後、図8(b)は6.7秒後、図8(c)は13.3秒後、図8(d)は20秒後、図8(e)は26.7秒後を示しており、それぞれのビームで捕捉された微小物体のみが他の微小物体に対して相対的に上方に移動していることが分かる。捕捉されていない微小物体の相対的な位置関係に若干のずれが見られるのは、各微小物体のブラウン運動によるものである。今回の実験ではVCSELアレイ1上の2素子のみを用いたが、同様の手法で、より多くの微小物体の捕捉へ容易に拡張できる。この場合、VCSELアレイ1の任意の発光パターンに従って微小物体を配列するなど、従来手法では得られない新規な機能を得ることも可能となる。

##### 【0027】(5-3) ノンメカニカルな微小物体の移動

VCSELは発光強度を高速に変調することができる。このことは、対象となる微小物体の状態に応じてパターンを変化させ、それを操作できることを示している。ここではVCSELアレイ1上の2素子を用い、これらの発光と消光を交互に行うことにより微小物体をノンメカニカルに移動させることを試みた。実験結果を図9に示す。実線の矢印が発光しているVCSEL、点線の矢印が消光しているVCSELの位置に対応している。向かって右側のVCSELの位置に捕捉されていた粒子〔図9(a)〕が、発光VCSELを変更により左側のVCSEL位置〔図9(c)〕に移動し、再度右側のVCSEL位置〔図9(e)〕に戻る様子が分かる。この間、VCSELの発光・消光以外の操作は行っておらず、本発明によりノンメカニカルな微小物体移動が可能であることが確認された。使用するVCSELアレイの素子数を増やせばより広範囲で自由に微小物体移動が可能となる。

##### 【0028】(6) 微小物体に生じる力の概算

微小物体が光との相互作用により受ける力は、液体中の微小物体の移動速度から算出することができる。この方法により、これまでの実験で微小物体が受けた力を求めた結果を表1に示す。

##### 【0029】

##### 【表1】

実験とシミュレーションにおけるトラップ力の比較

実験	物体半径 (μm)	平均速度 (μm/秒)	トラップ力の実験値 (pN)	計算値 (pN)
VCSEL1 素子	3	0.66	0.088	0.33
VCSEL2 素子	3	0.72	0.089	0.33
ノンメカニカル	5	0.26	0.278	0.69

【0030】また、VCSELの強度を実験値と同じ0.8mWと設定し、微小物体が受ける力の最大値を計算した結果を表1の右端に示す。常に最大のトラップ力を利用しているとは限らないため、実験ではシミュレーション結果の1/3から1/4倍のトラップ力しか得ら

れていないが、システムの改良などにより計算値に近くものと思われる。

##### 【0031】(7) 計算機シミュレーションによるトラップ力の計算例

複数のVCSEL素子を一つの微小物体に照射すれば、

その強度分布を容易に変調できるため、単なる捕捉以外の操作が期待できる。ここでは、複数のVCSEL素子を用いた場合の光トラップにより生じる力の計算結果を示す。

【0032】VCSELアレイを用いる場合、トラップするビームのパターンはスポットアレイと考えることができる。ここでは図10に示すように、 $2 \times 2$ のVCSELアレイで一つの微小物体を捕捉する場合を想定し、そのトラップ力を計算する。図10の $d_{0g}$ は、VCSELの各素子によるスポットの、原点からの距離を表す。また、各スポットはガウスビームであるとした。水平方向のトラップ力の $d_{0g}$ 依存性を図11に示す。正の値が原点方向への力、負の値がその反対向きの力を示す。また、図中の $z$ は光軸方向の焦点位置からのずれ量である。 $d_{0g}$ が大きくなるにつれて力を与える領域が広がるが、その値は小さくなるのが分かる。また、 $d_{0g}$ が大きいときには、負の力が生じている。これは4つのVCSELのうちのある1素子の方向に力が働き、そこに捕捉されることを示している。以上の結果は、トラップ力がVCSELアレイの配置に敏感に影響を受けることを示すものである。従って、VCSELの発光分布を制御することにより、微小物体に与える力を変化させることができる。

#### 【0033】(8) 展開可能な応用

実験は、システムのプロトタイプを用いて行ったものであり、VCSELの強度やステージの移動の制御を手動で行った。このため、VCSELアレイ中の発光素子やステージの移動精度などが制限され、VCSELアレイ光トラップの機能を最大限に発揮しているとはいえない。しかし、システムの改良により、これまでに示したものの以上の多くの機能の実現が期待できる。ここでは本発明の新しい非接触微小物体操作法としての展開可能な応用について述べる。

#### 【0034】(8-1) 多数の微小物体の一括捕捉と移動

実験では2微小物体の一括捕捉を行ったが、原理的にはVCSELアレイの素子数分の微小物体を一括捕捉することが可能である。また、捕捉した微小物体を閉じた囲い状に配置すれば、その内部に直接捕捉していない微小物体を閉じ込め、それらを大量に一括して移動させることもできる。さらにこれらの方法を組み合わせれば、多数の微小物体を同時に大きく移動させた後、個々に対して精密な制御を行うといった有効な利用法が同一のシステム構成で可能となる。

#### 【0035】(8-2) ノンメカニカルな微小物体の移動

システムの安定化や精密な制御への要求に対し、ノンメカニカルな微小物体移動は非常に有効な手法である。VCSELアレイ上の2素子を用いた場合のノンメカニカルな微小物体移動については既に実験により示したが、

VCSELアレイの素子全体に容易に拡張することが可能であり、VCSELアレイの範囲内で自由に微小物体を移動させることができる。さらに、トラップ用のビームのデフォーカス、あるいは、位相光学素子を用いたビーム分割などにより、さらに広い範囲内で自由な移動ができる可能性を有する。

【0036】(8-3) 微小物体位置の精密な制御  
一つの微小物体をVCSELアレイ上の複数の素子で捕捉する場合には、それぞれのビームから受ける光圧の均衡がとれる位置に微小物体は静止する。このことから、各VCSELの強度を適当に制御すれば、微小物体位置をVCSELアレイの間隔よりもはるかに高い精度で制御することが可能となる。この機能も当然ノンメカニカルに達成できる。

【0037】(8-4) 微小物体の運動誘起とその制御  
VCSELアレイの空間的な強度分布の制御に加え、時間的にも変調を制御すれば、微小物体の運動を誘起し、制御することができる。例えば、回転、振動、加速等が考えられる。光圧を用いた回転の方法として、ビームにらせん上の位相分布を与える方法〔9〕や、微小物体の複屈折性を利用する方法〔10〕などが提案されている。しかし、前者は回転速度などパラメータが固定されるし、後者は対象となる微小物体に複屈折性が要求されるという問題点がある。これに対し、本手法を用いれば、あらゆる微小物体を対象とし、かつ運動のパラメータを設定、変更することが可能である。また、微小物体加速により、微小物体を遠く離れた位置へ引き渡したり、完全に外部に放り出すこともできる。本手法はマイクロマシンなどの微小な装置の機械的な操作への適用が考えられる。

【0038】(8-5) 様々な形状の微小物体の制御  
これまでに提案された光トラップの応用では、球形に近い微小物体を捕捉の対象とすることが多かった。これは、球形以外の微小物体を捕捉する場合、単一光源による光トラップでは微小物体自体の回転を制御するのが困難であるし、移動も容易ではなく特定方向に限定されることが考えられる。これに対し、VCSELアレイ光トラップでは、円柱微小物体をはじめとして、様々な形状の微小物体の回転やその自由な移動が可能となる。

【0039】以上挙げたすべての機能に共通するのは、これを単一光源の光トラップ技術を用いて行うことは不可能、あるいは、システムへの新たなデバイスの導入や機械的な走査などが要求されることである。VCSELアレイ光トラップは同一のシステム構成で、これらすべての機能を実現できる可能性を有しており、汎用性、応用性に優れた技術であると言える。

【0040】なお、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨に基づいて種々の変形が可能であり、これらを本発明の範囲から排除するものではない。



【0041】

【発明の効果】以上、詳細に説明したように、本発明によれば、以下のような効果を奏することができる。

【0042】(1) VCSELアレイは、各素子の強度を独立に制御することができるため、任意のスポットパターンを生成することが可能である。また、そのパターンを高速変調できる。従って、VCSELアレイを光源とした光トラップ技術により、自由度の高い微小物体操作が期待でき、精密な操作が可能となる。

【0043】(2) VCSELアレイの素子数分の微小物体を一括捕捉することが可能である。

【0044】(3) VCSELアレイの範囲内で自由に微小物体を移動させることができる。さらに、トラップ用のビームのデフォーカス、あるいは、位相光学素子を用いたビーム分割などにより、さらに広い範囲内で自由な移動ができる。

【0045】(4) VCSELの強度を適当に制御することにより、微小物体位置をVCSELアレイの間隔よりもはるかに高い精度で制御することが可能となる。

【0046】(5) あらゆる微小物体を対象とし、かつ運動のパラメータを設定、変更することが可能である。また、微小物体の加速により、微小物体を遠く離れた位置へ引き渡したり、完全に外部に放り出すこともできる。したがって、マイクロマシンなどの微小な装置の機械的な操作への適用が可能である。

【0047】(6) VCSELアレイ光トラップでは、円柱微小物体をはじめとして、様々な形状の微小物体の回転やその自由な移動が可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明にかかる光トラップの原理を示す図である。

【図2】本発明の実施例を示す微小物体のマニピュレーションシステムの構成図である。

【図3】本発明の実施例を示す微小物体のマニピュレーションシステムのVCSELドライバの回路構成図である。

【図4】本発明の実施例を示す微小物体のマニピュレーションシステムの光学系の構成図である。

【図5】本発明のシステムで用いるVCSELアレイ（波長854nm、最大出力3mW以上、開口径15 $\mu$ m $\phi$ 、250 $\mu$ mピッチ、素子数8 $\times$ 8個）の発光強度特性を示す図である。

【図6】本発明の試料としてのプレパラートを示す図で

ある。

【図7】本発明のシステムによるVCSELアレイ1上の1素子のみを発光させ、微小物体の捕捉と移動の様子を示す図である。

【図8】本発明のシステムによるVCSELアレイ1上の2素子を同時に発光させ、それぞれで微小物体をひとつずつ捕捉・移動させる様子を示す図である。

【図9】本発明のシステムによるVCSELアレイ1上の2素子を用い、これらの発光と消光を交互に行うことにより微小物体をノンメカニカルに移動させる様子を示す図である。

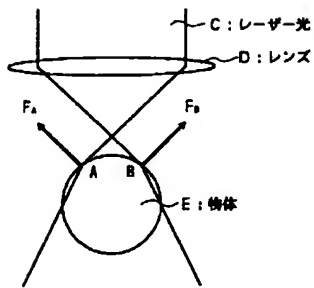
【図10】本発明のシステムによる2 $\times$ 2のVCSELアレイで一つの微小物体を捕捉する場合を想定し、そのトラップ力を示す図である。

【図11】本発明のシステムによる水平方向のトラップ力の $d_{0g}$ 依存性を示す図である。

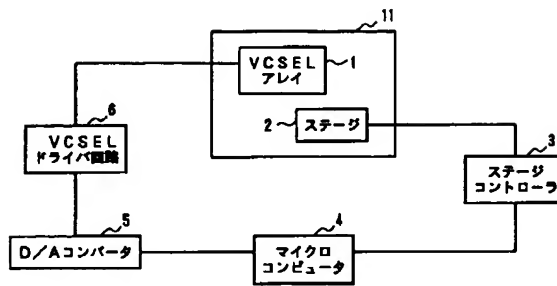
【符号の説明】

- 1 VCSELアレイ
- 2 ステージ
- 3 ステージコントローラ
- 4 マイクロコンピュータ
- 5 D/A（デジタル/アナログ）コンバータ
- 6 VCSELドライバ回路
- 7 増幅器
- 8 FET
- 9 Tr
- 10 抵抗
- 11 光学系
- 12 4f結像光学系
- 12A, 12B レンズ（焦点距離 $f=80$ mm）
- 13 VCSEL中間結像面
- 13A, 13B レンズ（焦点距離 $f=200$ mm）
- 14 CCD
- 15 ダイクロイックミラー
- 16 対物レンズ
- 17 試料（直径6 $\mu$ mおよび10 $\mu$ mのポリスチレン球で、水に分散）
- 18 マイクロレンズアレイ
- 21 プレパラート
- 22 スライドガラス（1穴ホールスライド）
- 23 カバーガラス
- 24 VCSELのビーム

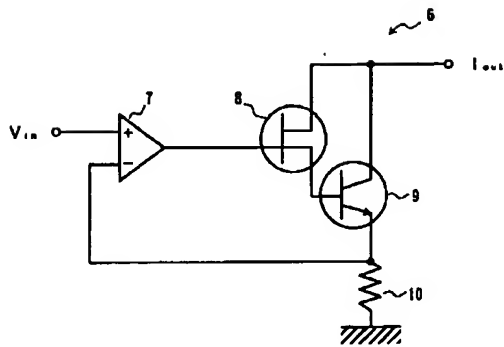
【図1】



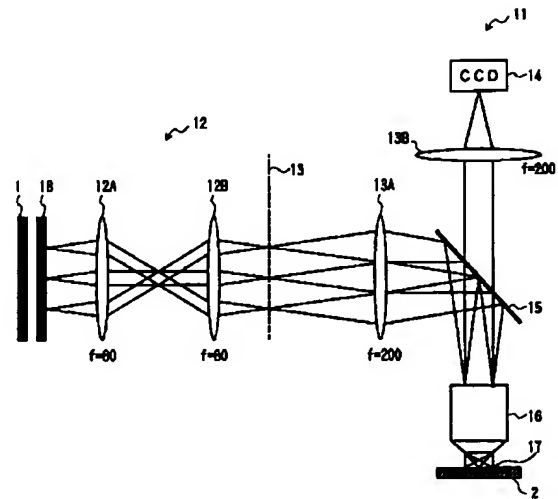
【図2】



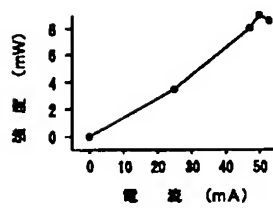
【図3】



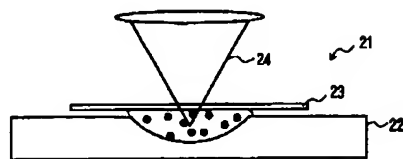
【図4】



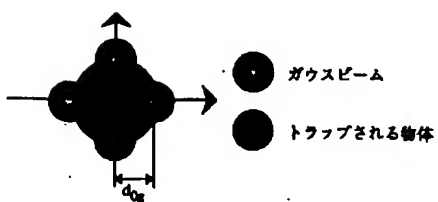
【図5】



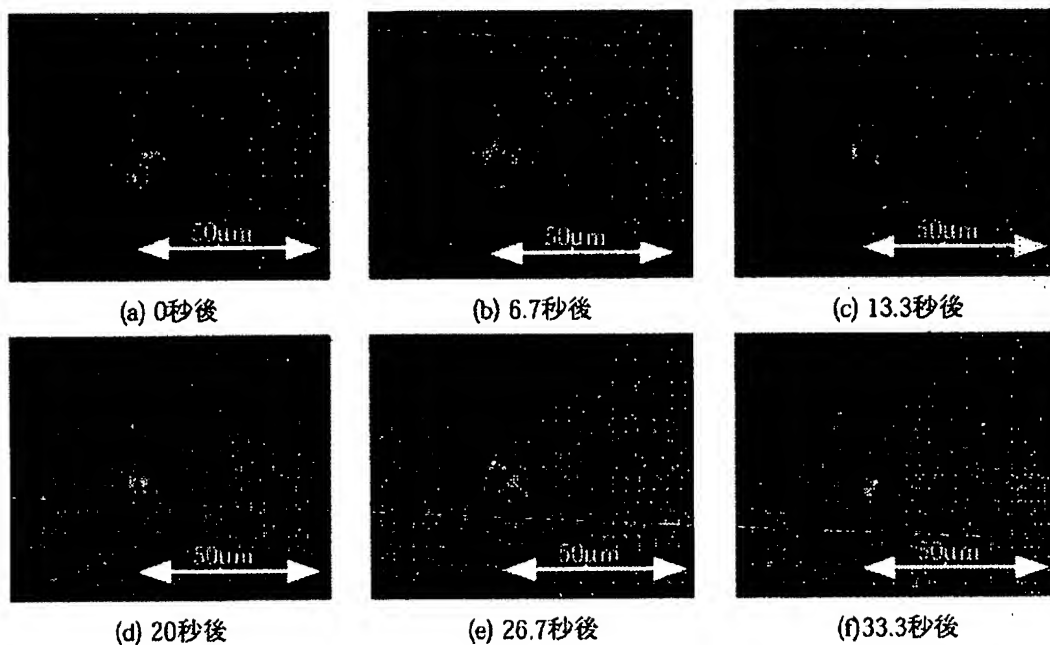
【図6】



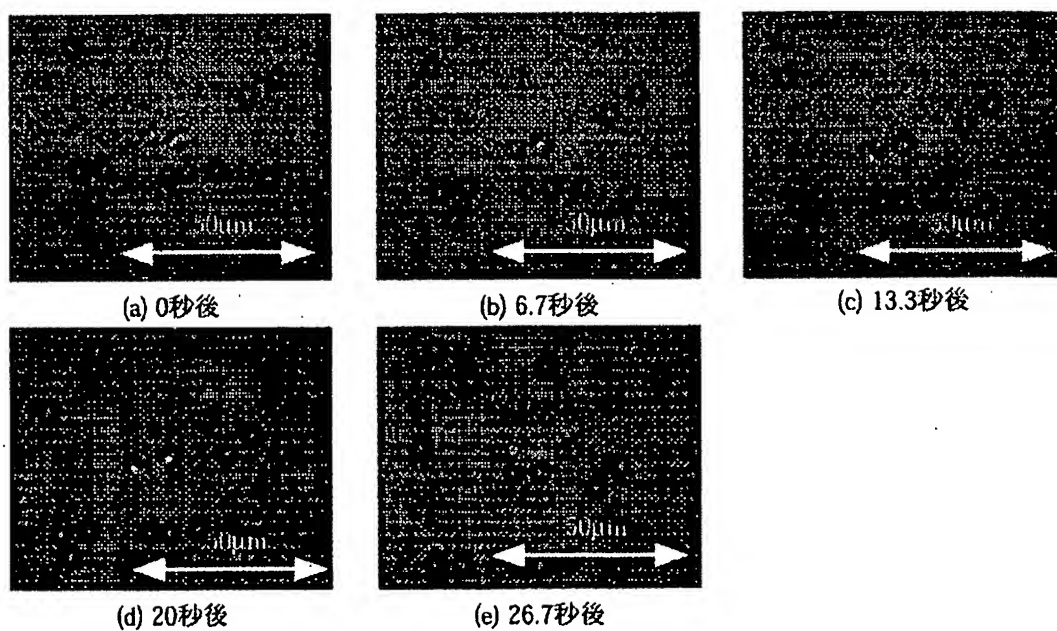
【図10】



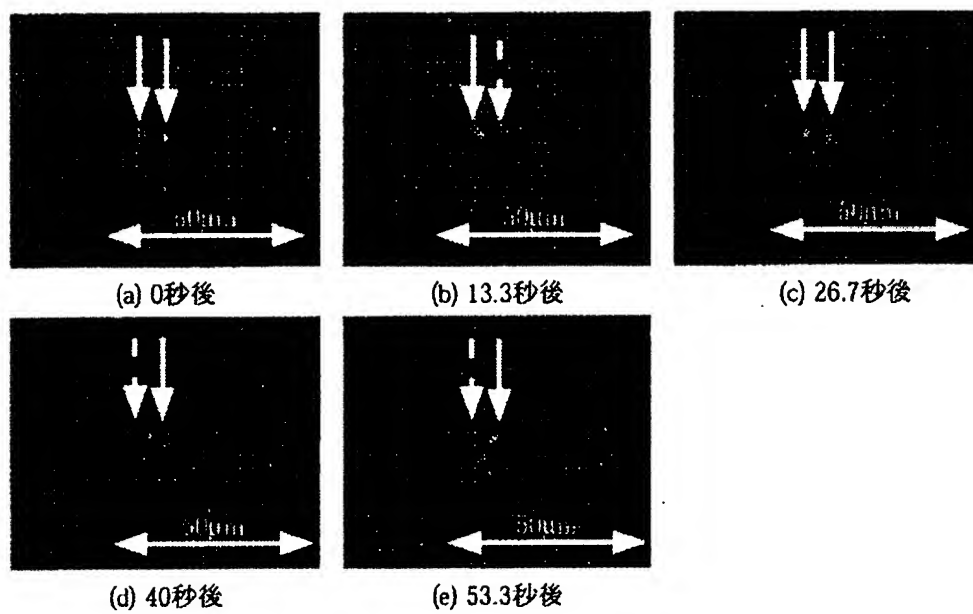
【図7】



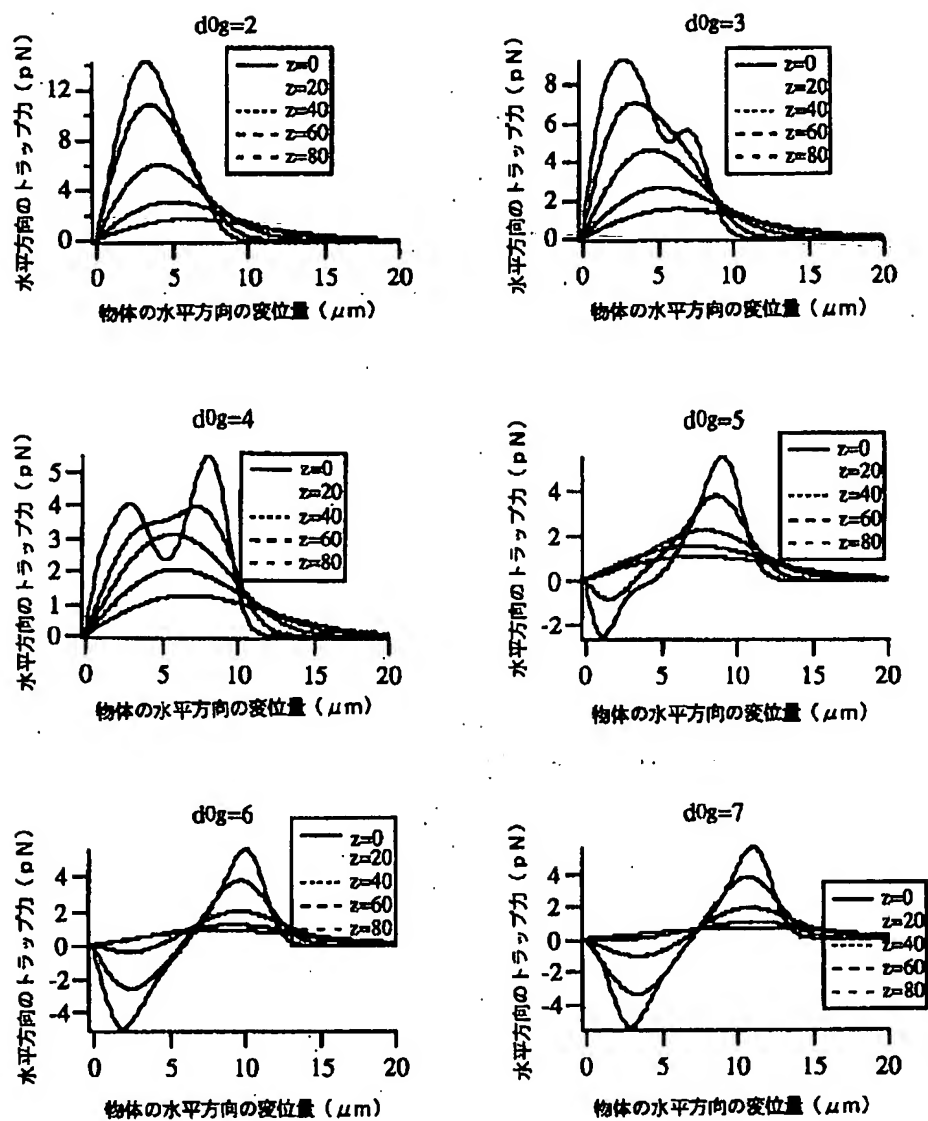
【図8】



【図9】



【図11】



**THIS PAGE BLANK (USPTO)**